



TITLE:

分数量子ホール状態における縦抵抗増大状態(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

津田, 是文

CITATION:

津田, 是文. 分数量子ホール状態における縦抵抗増大状態. 京都大学, 2017, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2017-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20547>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2019-07-16に公開

京都大学	博 士（理 学）	氏名	津田 是文
論文題目	分数量子ホール状態における縦抵抗増大状態		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>極低温度高磁場下にある高易動度の2次元電子系においてのみ発現する分数量子ホール状態は、多体の電子相関を背景とした特異な量子系である。この分数量子ホール状態のうち、ランダウ準位占有率 2/3 状態について、電子スピン偏極状態と電子スピン非偏極状態のエネルギーが交錯する磁場近辺で大電流を流し続けた後に、縦抵抗増大状態が非平衡状態として生成することが知られている。この縦抵抗増大状態は、核スピン偏極を伴いながら生成していることが先行研究により明らかにされていたが、具体的な生成機構はこれまで解明されていなかった。しかし、縦抵抗が核スピン偏極の敏感な測定手段となることから、生成機構自体が明らかにされていないにもかかわらず、量子ホール効果現象解明の重要な測定方法として応用されてきた。従って縦抵抗増大の生成機構解明は、量子ホール効果研究分野全体における急務の課題となっていた。津田是文氏は、この縦抵抗増大状態の成因を探るため、縦抵抗増大状態生成用の大電流を長時間継続的に流したのち、微小電流での物性測定を、縦抵抗増大状態が減衰しない短時間に行う巧妙な測定法を開発し、これまで知られていなかった縦抵抗増大状態の物性を温度依存性を含めて精密測定することに成功した。その結果、熱平衡時の占有率 2/3 量子ホール状態においては通常金属同様に正の温度依存性を示す縦抵抗が、縦抵抗増大状態においては負の温度依存性を示すことを発見した。次いで、占有率を 2/3 から系統的にずらして大電流を流して縦抵抗の増大状態を生成したときは、縦抵抗増大やホール抵抗の振る舞いが系統的に変化することを発見した。また代表的 2 点の占有率で縦抵抗増大状態を作った後、更に占有率を掃引する実験を行い、例外はあるものの量子ホール状態では極小を示す占有率では、縦抵抗増大状態では縦抵抗極大を示すこと、ホール抵抗は量子化された値と近い値のプラトーを示した。</p> <p>津田氏はこれらの実験事実を説明するモデルとして、電子スピン偏極状態と電子スピン非偏極状態の各々がマクロに分離して隣接するストライプ状ドメイン構造が、縦抵抗増大状態を説明すると提案した。同構造は縦抵抗増大状態を生成するときに流された大電流の向きに直交する向きに長手方向を揃えた2種類の細長いドメインが交互に並ぶ構造をとり、電子がドメイン境界を越えて移動するときに電子スピン反転に伴って核スピン反転が起こり、核スピン偏極がドメインの異方的成長を与えることにより、ストライプ構造を安定化することで生成されるものである。このストライプ構造を横切る形、すなわち、異なった状態にあるドメインを交互に通過する形で電流が流れるため、通常の量子ホール状態より有意に大きな有限の縦抵抗が発生することとなる。温度の上昇はストライプ内の量子ホール状態を不安定にするので、通常の量子ホール状態と異なり、縦抵抗は減少するので、その結果負の温度依存性を示す。例外の現象は2種類のドメインの組み合わせによって説明した。また占有率を 2/3 よりわずかにずらせたまま縦抵抗増大状態を生成したときには、ストライプ構造が電流の向きに直交する向きから傾斜することにより、ホール抵抗の値が量子化値よりずれた値でプラトーを示すことができる。</p> <p>以上の研究により、これまで成因が解明されていなかった占有率2/3量子ホール状態における縦抵抗増大状態の理解が飛躍的に発展し、先行研究により得られていた不可解な知見の理解を新たにするなど、重要な成果を得ることができた。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

研究目的の評価

津田氏は、高易動度の2次元電子系においてのみ発現する分数量子ホール状態のうち、ランダウ準位占有率 $2/3$ 状態に大電流を印加した後の非定常状態として発現する、縦抵抗増大状態の生成機構の解明を目指して研究を行った。縦抵抗増大現象は量子ホール効果研究の測定手段になっている重要な現象にも関わらず、縦抵抗増大状態の発見以来18年以上が経過するものの、その生成機構は未解明であり、低次元量子多体系の理解をすすめる観点からも研究の意義は高い。

研究手段に関する評価

津田氏は、縦抵抗増大状態の生成に必要な大電流は、同時に2次元電子系を加熱してその物性に影響を与えるため、現象の本質が加熱効果によって隠れていることを見抜き、大電流による縦抵抗増大状態生成と小電流による短時間の物性測定を行う、巧妙な測定法を考案することで、非定常状態である縦抵抗増大状態の精密な物性測定に成功した。また、核スピンの拡散により、長時間にわたり履歴が残りデータの再現性に影響を与えることを突き止め、電子密度を操作することで核スピン緩和の速い占有率に遷移させて、縦抵抗増大状態の保持に関与している核スピン偏極をリセットして再現性を改善させるなど、分数量子ホール系を自在に操る術を手中にして研究を進めた。その結果、従来は信頼の置ける測定をすることができなかった、縦抵抗の温度依存性の信頼できる測定に成功し、占有率 $2/3$ 分数量子ホール状態の定常状態においては金属的な正の温度依存性を示していたが、縦抵抗増大状態では不導体的な負の温度依存性を示すことを発見した。また占有率を $2/3$ から系統的にずらした状態での縦抵抗増大状態を生成することで、同状態の生成の条件を明らかにした。そのみならず、縦抵抗増大状態が減衰する前の限られた時間に電子密度掃引を行う手法を確立することで、縦抵抗増大状態の物性の詳細を導き出し、同状態解明に繋がる鍵となる知見を得ることに成功するなど、思慮深い研究手段により同状態の解明に向け大きく貢献した。

結果考察の評価

津田氏は実験測定により得た知見と、先行研究で得られていた縦抵抗増大状態と共存する核偏極状態についての知見を元に、電子スピン偏極状態と電子スピン非偏極状態がストライプ状に並列して混在するドメイン構造をモデルとして提案した。モデルは縦抵抗増大状態の負の温度依存性を説明すると同時に、熱平衡状態と対称な縦抵抗の振る舞いも説明できる。またドメイン壁を電流が透過するときに電子スピンの反転に伴って発生する核偏極が、ストライプ構造の発展につながり、長時間大電流を印加することで発生する縦抵抗増大状態の生成機構を説明する巧妙なモデルを考案した。さらに占有率を $2/3$ から僅かにずらして生成した縦抵抗増大状態が示すホール抵抗のずれをも説明することに成功したことは、特筆すべきことである。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年2月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降